

# Dispositivo de Monitoreo de Consumo para el Ahorro de Energía en el Hogar

## Home Energy Saving Using a Consumption Monitoring Device

DOI: <https://doi.org/10.17981/cesta.02.01.2021.01>

Artículo de investigación científica. Fecha de recepción: 15/01/2021. Fecha de aceptación: 15/06/2021.

**Jhonatan De la Hoz** 

Universidad Autónoma del Caribe. Barranquilla (Colombia)  
jhony\_199611@hotmail.com

**Betsy Guerrero**

Universidad del Norte. Barranquilla (Colombia)  
bethsy98@hotmail.com

**Kelvin Beleño**

Universidad Autónoma del Caribe. Barranquilla (Colombia)  
kelvin.beleno@uac.edu.co

Para citar este artículo:

J. De la Hoz, B. Guerrero y K. Beleño, “Dispositivo de Monitoreo de Consumo para el Ahorro de Energía en el Hogar”, *J. Comput. Electron. Sci.: Theory Appl.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–18, 2021. <https://doi.org/10.17981/cesta.02.01.2021.01>

**Resumen**— La eficiencia energética es un concepto enfocado en el uso consciente y optimizado de la energía eléctrica. Se ha evaluado como una alternativa sostenible para reducir las problemáticas ambientales que se generan para la producción de energía. En este trabajo se propone un sistema de supervisión de energía eléctrica, realizando control de las cargas mediante una red de sensores y generando un reporte con el estimado del consumo energético mediante una raspberry pi. El resultado de este trabajo fue el desarrollo de un sistema donde el usuario ingresa un valor aproximado de su factura y el sistema arroja las horas de uso adecuadas de cada electrodoméstico; para esto, el sistema calcula cuánto se debe consumir con el fin de llegar al monto estipulado, teniendo en cuenta la priorización de algunos dispositivos de acuerdo con su frecuencia de uso y el uso de una tabla de consumo fijo en el que se ingresan los electrodomésticos que son de uso continuo. El uso del dispositivo desarrollado se debe complementar con una cultura de uso racional de la energía y una red de cableado en óptimo estado.

**Palabras clave**— Ahorro de energía; consumo de energía; eficiencia energética; potencia eléctrica; raspberry

**Abstract**— Energy efficiency is a concept focused on the conscious and optimized use of electrical energy. It has been evaluated as a sustainable alternative to reduce environmental problems that are generated for energy production. In this work, an electrical energy supervision system is proposed, controlling the loads through a network of sensors and generating a report with the estimated energy consumption using a raspberry pi. The result of this work was the development of a system where the user enters an approximate value of his invoice and the system shows the appropriate hours of use of each appliance; For this, the system calculates how much should be consumed in order to reach the stipulated amount, taking into account the prioritization of some devices according to their frequency of use and the use of a fixed consumption table in which the electrical appliances are entered. The use of the developed device must be complemented with a culture of rational use of energy and a cable network in optimal condition.

**Keywords**— Energy saving; energy consumption; energy efficiency; electric power; raspberry

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, se está hablando alarmantemente acerca del cambio climático puesto que se están evidenciando sus efectos a nivel mundial, los cuales van desde pérdidas de cosechas hasta trágicos desastres naturales que les han cobrado la vida a miles de personas. En un planeta con condiciones climáticas irregulares es difícil sobrevivir, puesto que las condiciones inestables generan problemáticas para la sostenibilidad, es decir en la disponibilidad de alimento, hábitat, agua y otros recursos vitales. Por ejemplo, en el caso de Colombia el 63% de la energía proviene de centrales hidroeléctricas [1], al momento en que varíe la temperatura las dos estaciones presentes se intensifican y se generan emergencias sanitarias y de salubridad, como las ocurridas en Colombia durante el año 2016, donde los embalses llegaron hasta un porcentaje crítico del 9% [2]; en ese momento el gobierno nacional comenzó a pedir a los ciudadanos el uso medido y supervisado de la energía, llegando a pagar incentivos con el fin de reducir el consumo energético, sin embargo, no se debería esperar situaciones críticas para aplicar medidas de protección y regulación como la eficiencia energética, pues en Colombia hay antecedentes desde el 2001 cuando se creó la Ley 697, donde se promueve el uso consiente de la energía y también se divulga la utilización de energías limpias, liderado por el ministerio de minas y energía [3]. La elevada desinformación se debe a que en Colombia ha faltado voluntad política para la difusión de las buenas prácticas que permitan incentivar el uso asertivo, razonable y óptimo de la energía, así como la creación de una agencia nacional de eficiencia energética.

La corporación para la Energía y el Medio Ambiente (CORPOEMA) y la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) desarrollaron en conjunto una pauta para el consumo sensato, razonado y eficaz de la energía en el sector domiciliario, concentrándose en las zonas caliginosas y tórridas de Colombia. Comienzan realizando estudios del clima de las regiones, como lo son su temperatura, humedad, precipitación, radiación solar, dirección y velocidad del viento, ya que estos factores son determinantes en las costumbres y acciones de la población pues se correlacionan al confort térmico inherente de cada persona. Por ejemplo, si una zona presenta temperaturas altas, donde hay una alta irradiación solar y no existen corrientes de aire, se prolonga más el uso de dispositivos de ventilación o aires acondicionados, por lo que las repercusiones de su uso se ven reflejadas en un elevado gasto energético. En la guía también detallan como es el empleo energético en estas zonas de Colombia, registrando los datos de consumo de cada electrodoméstico y comparando los valores del gasto por estratos, permitiendo así, conocer cómo es el uso de cada dispositivo y cuáles son los hábitos de dispendio energético de estos; dichas gráficas son muy importantes para analizar dónde se está presentando un gasto crítico y así proceder a su regulación por medio de estrategias efectivas, que van desde la revisión y corrección de instalaciones eléctricas, optimización del uso energético hasta acondicionamientos mecánicos y ambientales para los hogares [4].

Según los antecedentes ya presentados en Colombia se puede realizar acciones para la eficiencia energética, sólo se necesita de una concientización social y más apoyo político para que se acreciente el desarrollo de trabajos investigativos en este campo, por esta razón este documento presenta un modelo a través del acondicionamiento eléctrico de una vivienda y la creación de un dispositivo para ejercer la práctica de la gestión energética.

Los resultados de esta investigación fueron satisfactorios ya que se pudo obtener un ahorro en el consumo energético, cumpliendo con los objetivos planteados, por ende, dando una mayor confiabilidad y rentabilidad a la eficiencia energética, aunque aún hay aspectos que se pueden mejorar, esta propiamente demostrado que este es un método funcional, por consiguiente, de este se hará énfasis y ampliación en este documento.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

El sistema completo consta de los siguientes dispositivos principalmente:

1. Arduino nano.
2. Raspberry Pi 3.
3. Sensor SCT-013-000.
4. Sensor ACS712-20A.
5. Convertidor lógico bidireccional.
6. Pantalla táctil 7" para Raspberry.
7. Placa de montaje principal.
8. Caja en impresión 3D.

Para las mediciones de potencia se requiere la medición de por lo menos la corriente eléctrica del sistema, en algunos casos se puede tomar el voltaje como un valor constante. En algunos países se maneja un voltaje de 220 V y en otros de 110 V, en este caso se maneja un voltaje de 110 V, pero como es de saberse el voltaje puede presentar variaciones según la calidad de la red, es por esto que muchos sistemas hacen la medición tanto de la corriente como del voltaje, sin embargo, en este caso se colocó el voltaje como un valor constante de 114 V ya que fue el voltaje medido en la red eléctrica en la cual se realizaron las pruebas, esto con el fin de simplificar el sistema y realizar la medición de la corriente.

Para la obtención de señales provenientes de sensores se utilizan microcontroladores Atmel utilizados en la plataforma Arduino, específicamente un Arduino Nano, esto debido a que el Arduino Nano es mucho más compacto y en este caso no se requirieron de muchos puertos.

El proyecto necesitó de un servidor y se utilizó una Raspberry Pi 3, la cual es una computadora compacta y tiene unas prestaciones favorables. En esta Raspberry se creó una base de datos mediante de PHP y MySQL, luego se realizó una página Web que fue elaborada con el framework Laravel para la visualización de todas las variables. En la Fig. 1 se puede ver el funcionamiento de todo el sistema de forma simplificada.

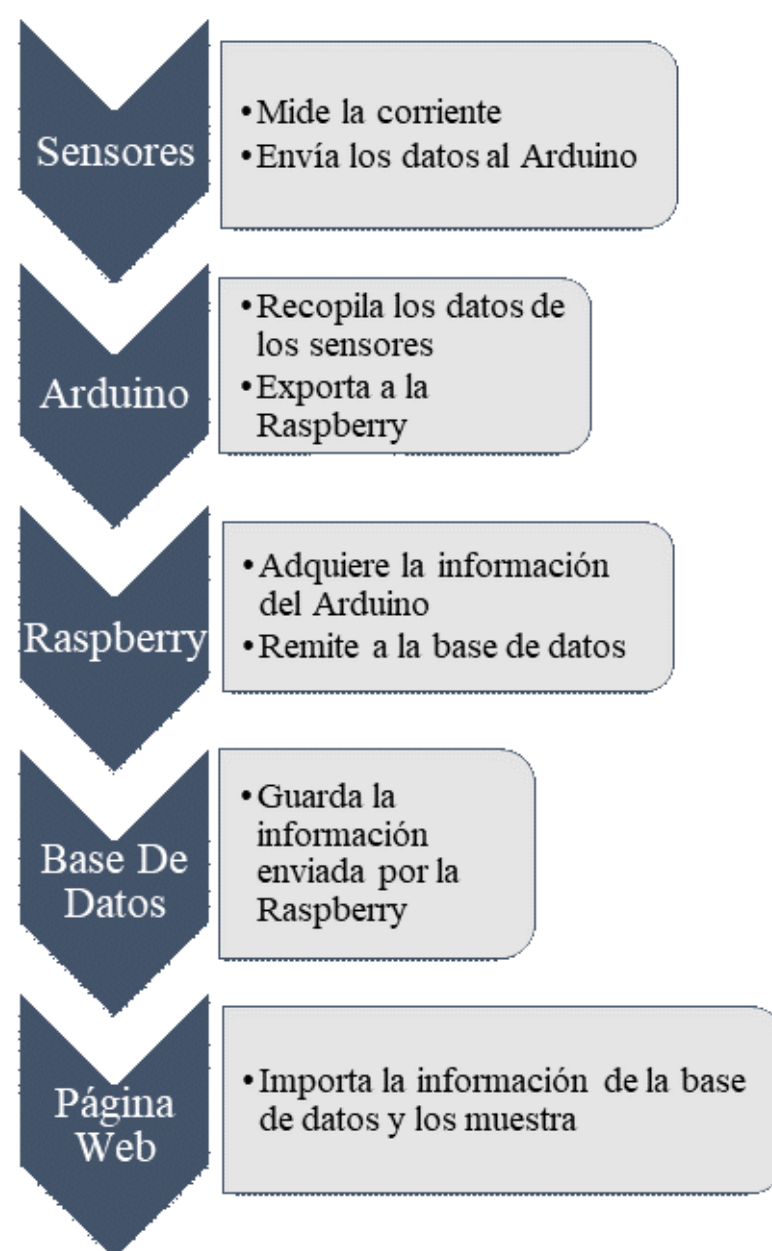


Fig. 1. Funcionamiento del Sistema.

Fuente: Autores.

Uno de los cambios significativos antes de realizar todo el sistema fue el cambio de tecnología, puesto es determinante saber si los dispositivos que se están utilizando son bastante antiguos o no, en este caso las bombillas eran del tipo fluorescentes, por lo tanto, se hizo un cambio por luces LED teniendo en cuenta la etiqueta de eficiencia energética que se puede observar en la Fig. 2. El reemplazo de estas bombillas se hace debido a que las LED son mucho más eficientes y presentan un menor consumo con la misma cantidad de iluminación (lúmenes) [5].



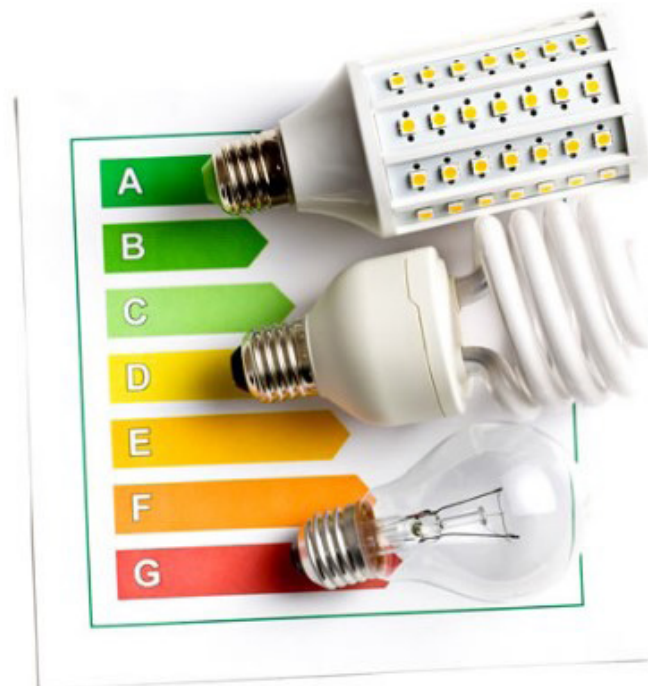


Fig. 2. Etiqueta de eficiencia energética.  
Fuente: Autores.

El cambio de tecnologías es bastante significativo puesto que tienen un consumo menor de energía, esto se verá reflejado en que la factura vendrá por un menor costo, así el confort no se verá afectado. En la siguiente Fig. 3 se puede ver una comparación de las 3 bombillas que normalmente son utilizadas.

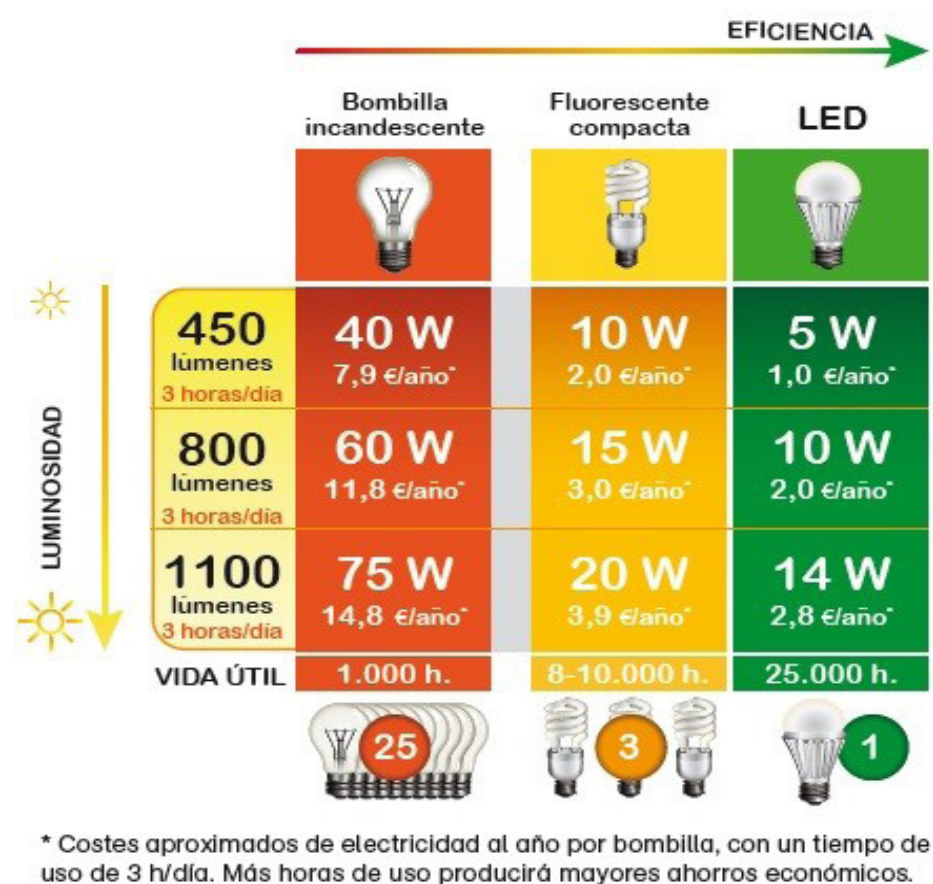


Fig. 3. Comparación de bombillas.  
Fuente: Autores.

#### A. Sensores

Para realizar una correcta selección se tuvo en cuenta la medición de corriente que se iba a realizar, en este caso había una sola zona para toda la vivienda, por lo que se tuvo que hacer un arreglo en el cableado para así distribuir individualmente 3 zonas en donde cada una manejara una corriente de 20A para las cuales se escogieron sensores de medición de hasta 100A, los SCT-013-000 (Fig. 4), ya que estos estaban más al alcance en ese momento, sin embargo, estos sensores tenían problemas para mediciones de potencias bajas lo que dio pie a que se utilizaran en conjunto con los ACS712-20A (Fig. 5), con una correcta programación se pudieron realizar mediciones bastante confiables.



Fig. 4. Sensor SCT-013-000.  
Fuente: Autores.

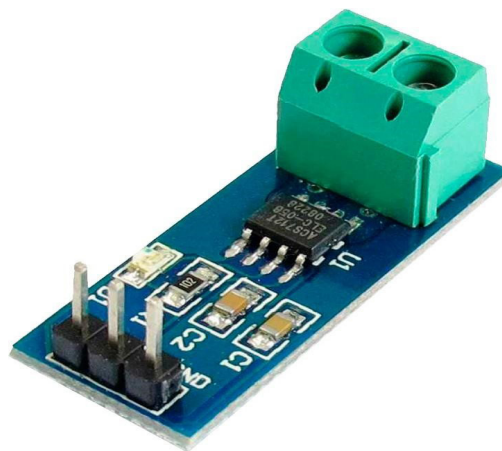


Fig. 5. Sensor ACS712-20A.  
Fuente: Autores.

Los sensores SCT-013-000 son un poco diferentes a los demás sensores de este mismo tipo, puesto que este sensor tiene una salida de corriente y no de voltaje, por lo cual se debe realizar un circuito previo de adaptación para poder sensar correctamente [6]. El circuito se puede ver en la Fig. 6.

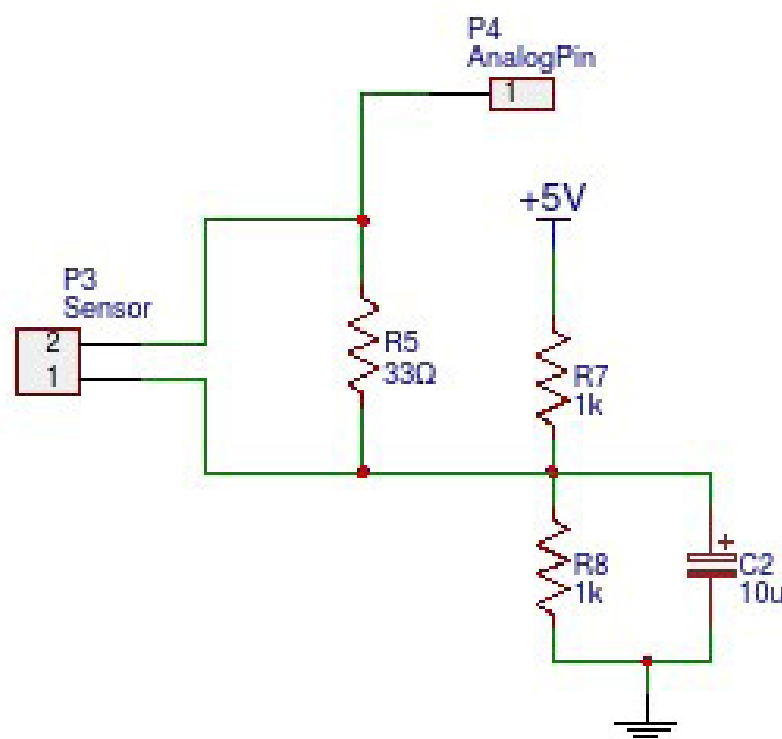


Fig. 6. Circuito SCT-013-000.  
Fuente: Autores.

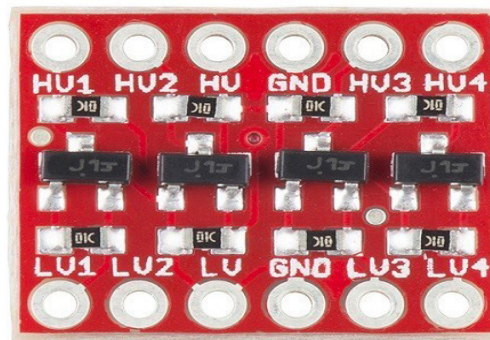
Para poder saber si las mediciones son correctas se necesita un dispositivo de medición confiable, es por esto por lo que se utilizó un TS-1500 ya que es un medidor de potencia eléctrica, corriente, voltaje y factor de potencia (Fig. 7).



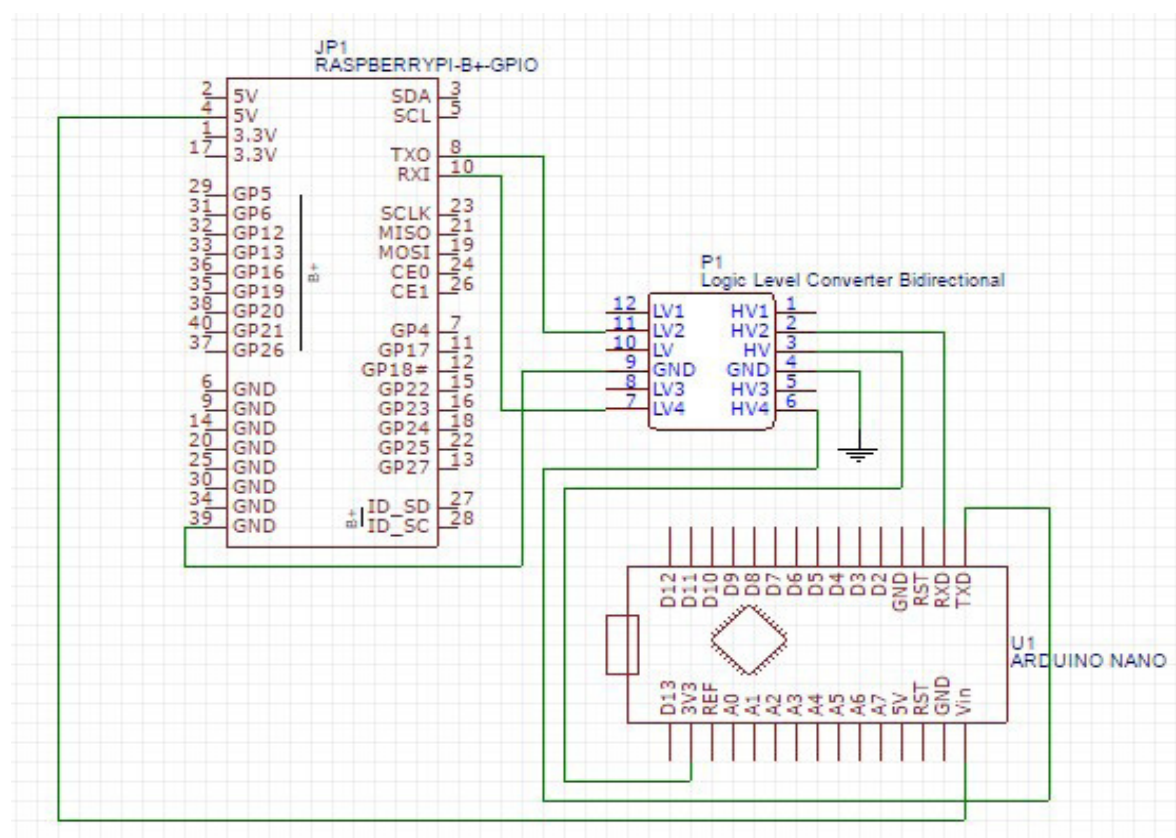
**Fig. 7.** Medidor de potencia.  
**Fuente:** Autores.

### B. Integración de hardware

Para realizar la comunicación entre Arduino y Raspberry se escogió la opción de GPIO, haciendo uso de un convertidor de nivel lógico bidireccional, el cual se encarga de convertir los voltajes del Arduino y Raspberry para su respectiva comunicación (Fig. 8). Para realizar la comunicación se realizó el esquema de conexiones que se muestra en la Fig. 9.



**Fig. 8.** Convertidor de nivel lógico bidireccional.  
**Fuente:** Autores.



**Fig. 9.** Conexiones Arduino-Raspberry.  
**Fuente:** Autores.

La conexión de los sensores se realizó de 2 formas. Para los sensores SCT-013-000 se escogió un Jack de 3.5 mm (Fig. 10) y para los ACS712-20A se hizo por medio de conectores RCA a Jack de 3.5 mm (Fig. 11; Fig. 12).





**Fig. 10.** Jack hembra 3.5 mm.  
**Fuente:** Autores.



**Fig. 11.** RCA hembra.  
**Fuente:** Autores.



**Fig. 12.** RCA macho.  
**Fuente:** Autores.

El Jack hembra se utilizó para la conexión de los 6 sensores. El sistema contó con una pantalla táctil de 7 pulgadas (**Fig. 13**), cuyo cableado se realizó acorde a lo descrito en [7].



**Fig. 13.** Pantalla Raspberry Pi.  
**Fuente:** Autores.

Para que todo el sistema quedara compacto se realizó una caja en impresión 3D con unas medidas de  $14 \times 23 \times 5$ . La alimentación de todo el sistema se hizo por medio de la Raspberry utilizando un adaptador AC/DC de 5 V a 2.5 A. Se realizó una extensión de micro-USB a Jack de alimentación para que pudiera sobre salir en la caja.

### C. Almacenamiento de información

Para la realización de la base de datos también llamada “db”, en esta plataforma se ingresaron todos los datos que se recopilaron de los sensores. En primera instancia se estableció la Raspberry como el servidor local, esto para que la base de datos no dependiera de otra cosa más que del encendido de la Raspberry.

Para la instalación del servidor en la Raspberry y crear la base de datos se tuvieron que realizar una serie de pasos:

1. Instalación apache 2 -html.
2. Instalación PHP5.
3. Reinicio de apache: `sudo service apache2 restart`.
4. Instalación mysql.
5. Instalación phpmyadmin. Se le da la opción “no”, para instalar manualmente.
6. Se editó el archivo “/etc/apache2/apache2.conf” desde el terminal colocando la siguiente instrucción: `sudo nano /etc/apache2/apache2.conf`.
7. Se añadió la línea `Include /etc/phpmyadmin/apache.conf` al final del archivo.
8. Se reinició apache2 con la orden `sudo /etc/init.d/apache2 restart`.
9. Para ver que estuviera funcionando apache2 se colocó la IP de la Raspberry en el navegador y para verificar que estuviera funcionando phpmyadmin se le agregó “/phpmyadmin/index.php”, quedando algo así: `127.0.0.1/phpmyadmin/index.php`.

Al realizar estos pasos se creó el servidor en la Raspberry y la db. La db también se podía visualizar en otro computador de la misma red local, por medio del terminal de la Raspberry y escribir “ifconfig”, esto arrojaba unos datos de conexión ethernet, la información de la Raspberry y la conexión por wifi, lo que se hizo fue escoger la IP que tenía en WLAND, es decir, la conexión por wifi y se reemplazó en la IP de la Raspberry que se colocó anteriormente (Fig. 14).

```
pi@raspberrypi:~ $ ifconfig
eth0      Link encap:Ethernet  HWaddr b8:27:eb:13:5c:c7
          inet6 addr: fe80::9879:95a5:6491:683a/64 Scope:Link
          UP BROADCAST MULTICAST  MTU:1500  Metric:1
          RX packets:0 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
          TX packets:0 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
          collisions:0 txqueuelen:1000
          RX bytes:0 (0.0 B)  TX bytes:0 (0.0 B)

lo        Link encap:Local Loopback
          inet addr:127.0.0.1  Mask:255.0.0.0
          inet6 addr: ::1/128 Scope:Host
          UP LOOPBACK RUNNING  MTU:65536  Metric:1
          RX packets:161 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
          TX packets:161 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
          collisions:0 txqueuelen:1
          RX bytes:71681 (70.0 KiB)  TX bytes:71681 (70.0 KiB)

wlan0     Link encap:Ethernet  HWaddr b8:27:eb:46:09:92
          inet addr:192.168.0.12 Bcast:192.168.0.255  Mask:255.255.255.0
          inet6 addr: fe80::62ea:88ee:c4b4:c5fb/64 Scope:Link
          UP BROADCAST RUNNING MULTICAST  MTU:1500  Metric:1
          RX packets:2405 errors:0 dropped:0 overruns:0 frame:0
          TX packets:1844 errors:0 dropped:0 overruns:0 carrier:0
          collisions:0 txqueuelen:1000
          RX bytes:2630892 (2.5 MiB)  TX bytes:267756 (261.4 KiB)
```

Fig. 14. IP WLAND y Raspberry.

Fuente: Autores.

Posteriormente se reemplazó la IP de la Raspberry por la IP WLAND en el explorador del computador lo cual permitió visualizar la db y editarla. En la db se hicieron 15 tablas, 12 para cada mes del año, una tabla llamada horas en la cual se ingresaron los datos de cada hora del día en el que se estuviera tomando la medición, es decir, si hoy comienza a medir desde la hora 10, la tabla comenzará a llenarse desde esa hora hasta la hora 24, al momento de llenarse la tabla se reinicia y lleva todos los valores a cero, esto para que al día siguiente no haya confusiones con las medidas y se sepa por donde va. Esto también se realizó para poder saber lo que ha



medido en el transcurso del día. Existe otra tabla llamada real-time la cual se encargó de almacenar los datos que se ingresaron en tiempo real por minuto, tenía la misma función que la tabla horas con la diferencia que con esta tabla se puede visualizar las medidas por cada minuto. Por último, está la tabla meses en la cual se almacenaron los datos de cada mes, en esta tabla sólo se visualizaron lo que se consumió en total de cada mes.

#### D. Conexión Arduino-Raspberry

En la programación del Arduino se realizó la adaptación de los sensores para recibir las señales, luego se colocaron los condicionales para saber cuál de los dos dispositivos es el encargado de realizar la medición debido a que los SCT-013-000 dan mediciones erróneas por debajo de 1A, por lo tanto, para cargas menores a 1A se utilizó el ACS712-20A. Se guardaron los 3 datos en una sola variable separados por un espacio para ser enviados por el puerto serial.

La programación fue realizada en Python. A continuación, se presenta un diagrama de flujo con la explicación básica del funcionamiento del código en Python (Fig. 15).

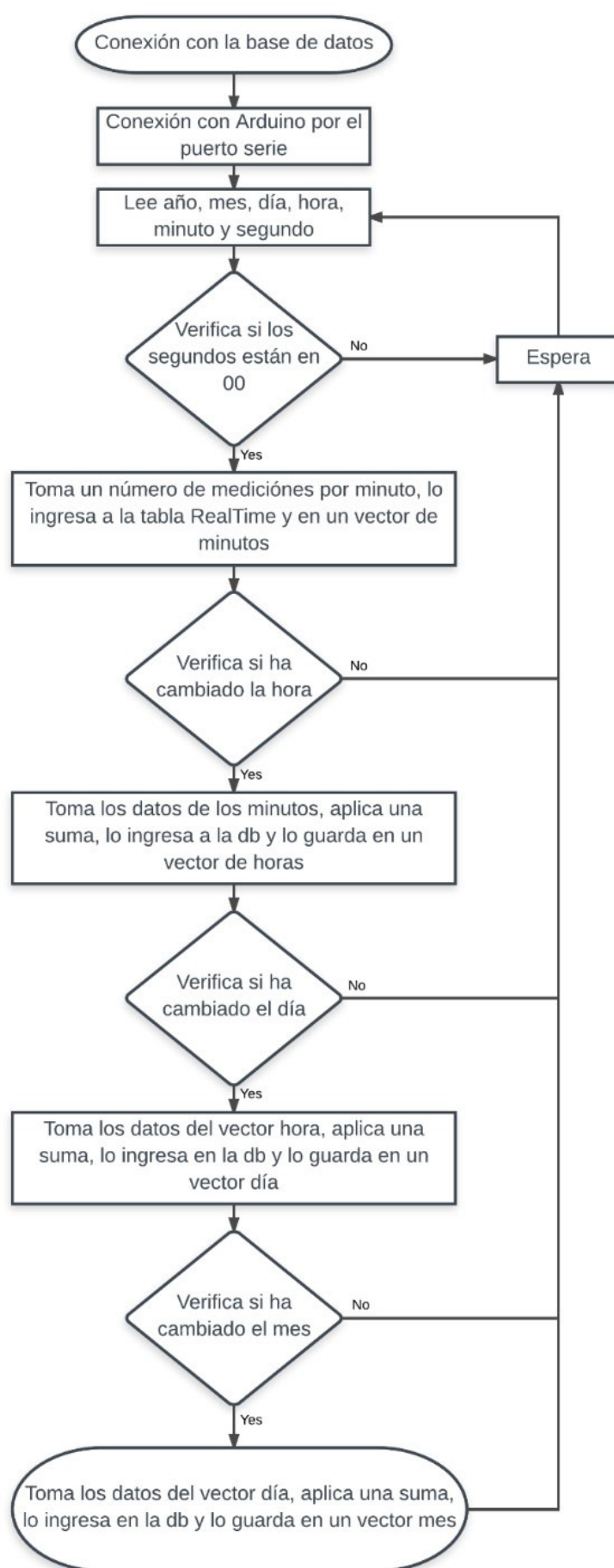


Fig. 15. Diagrama de flujo.

Fuente: Autores.

### III. RESULTADOS

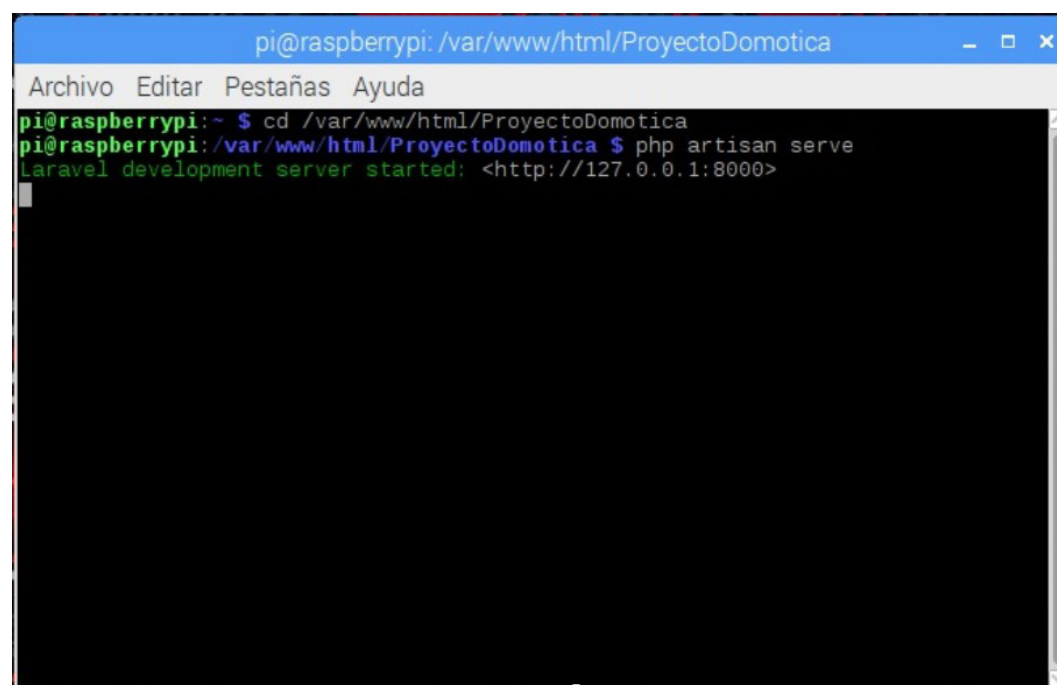
Primeramente, se empezó realizando el asesoramiento de los residentes de la vivienda en términos de incentivar el uso eficiente de la energía, con el fin de hacer modificaciones en los hábitos previos. Paralelamente, se realizaba el cambio de cableado a la residencia ya que esta era antigua y no cumplía con las normas actuales para instalaciones eléctricas, lo que permitió la sectorización de las zonas que fueron supervisadas. Con estos primeros pasos se evidenció un ahorro significativo en el gasto mensual logrando una disminución en el monto de la factura.

Seguidamente, se realizó el montaje de un aire acondicionado mientras que el sistema de supervisión realizaba la recolección de datos, con el cual se observó un aumento en el ahorro en términos del costo presentado en la factura con relación a los meses anteriores.

#### A. Página Web

La página fue realizada en Laravel un framework de php, este framework ofrece más seguridad en cuanto al servidor cuando se conecta a una base de datos. Para el desarrollo de esta página también se utilizó Html y Javascript [8]. Para poder utilizar la página en la raspberry se instaló Laravel en ella, para eso puede ir a la referencia [9]. Luego se pasó la carpeta del proyecto Laravel a la ubicación: **/var/www/html**.

Para poder ejecutar el proyecto se abrió el terminal y se localizó la ubicación de la carpeta del proyecto con el comando "**cd /var/www/html/Nombre\_del\_proyecto**", luego de esto se escribió el comando "**php artisan serve**" esto arrojó una IP, la cual fue 127.0.0.1:8000, esto se colocó en el explorador y ya se pudo visualizar la página. En la Fig. 16 se puede tener una mejor idea de lo realizado.



```

pi@raspberrypi: /var/www/html/ProyectoDomotica
Archivo Editar Pestañas Ayuda
pi@raspberrypi:~ $ cd /var/www/html/ProyectoDomotica
pi@raspberrypi:/var/www/html/ProyectoDomotica $ php artisan serve
Laravel development server started: <http://127.0.0.1:8000>

```

Fig. 16. Ejecutar Laravel.  
Fuente: Autores.

#### B. Estimación de gasto energético

Se realizó el diseño y desarrollo de un sistema capaz de calcular lo pedido por el usuario, en la cual formula un valor en pesos Colombianos de su factura y este arroja las horas reservadas para cada electrodoméstico en la cual se evalúan las variables para volver esta petición realidad, se consulta la forma de cobro del gasto energético, de ahí se parte a despejar cuanto se debe consumir para llegar al monto deseado, conociendo el total de watts horas que se deberían consumir en el mes, se comienzan a realizar las fórmulas.

Para simplificar las ecuaciones se lleva el posible consumo del mes a días, esto permite hacer una mejor distribución de la potencia, al hacer esto se sabe con exactitud cuántos Kw/h consume las distintas zonas, durante el estudio del caso decidimos darle prioridad a unos dispositivos, ya que hay algunos que los usuarios tienden a utilizar con mayor frecuencia y estos deben tener un porcentaje más alto de potencia que los demás, para darle robustez al sistema se esclavizaron los dispositivos de baja potencia mediante fórmula, para que estos tengan una utilización determinada por el usuario, de esta forma se tiene mayor control sobre estos dispositivos que presentan un consumo muy bajo y a la hora de realizar la estimación de uso marcaban horas fuera del rango de medición y muy poco eficientes. Se realizó una lista de consumo fijo en donde se ingresan los electrodomésticos más utilizados, como la nevera que no se puede manipular su uso, restando su consumo al posible consumo

diario, con la finalidad de que el usuario no ingrese un valor por debajo del que pueda ahorrar, se especifica que los datos mostrados son un aproximado de uso en base a una medición de consumo o lo ingresado por el usuario, puede variar por mayor consumo de los electrodomésticos ingresados o por un cableado con problemas donde se presentan pérdidas. El sistema no ejerce control, es meramente educativo, una ayuda para calcular el consumo que se desea y un soporte para mejorar los hábitos de consumo.

Se agregó una tabla nueva, en la cual se puede agregar más horas a sus dispositivos, esta tabla muestra las horas ya programadas y las horas extras, estas horas extras salen de la potencia no consumida por las diferentes zonas, esta tabla le da flexibilidad al sistema ya que el usuario puede extender el uso de determinado dispositivo si es de su elección, esta fue la solución a la pérdida de energía que no fue consumida en las zonas definidas y que no puede devolverse debido a que esto implicaría el uso de ecuaciones de alta complejidad, que se aleja de los alcances determinados en los objetivos, así que se optó por realizar esta tabla, además que brinda autonomía al usuario de utilizar esta potencia sin dejar de hacer uso eficiente ni perder confort y calidad de vida.

En el cambio de las bombillas se puede observar en la Fig. 17 y Fig. 18 una diferencia considerable en cuanto al consumo de las fluorescentes con las LEDs. Se puede evidenciar de que el cambio de estas tecnologías es sustancial para poder obtener un ahorro en el consumo energético.



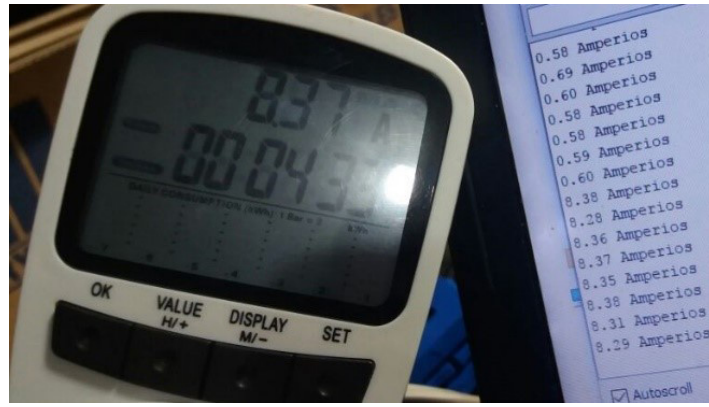
Fig. 17. Bombilla fluorescente.  
Fuente: Autores.



Fig. 18. Bombilla LED.  
Fuente: Autores.

Para la caracterización del sensor SCT-013-000 se puede observar a continuación que el circuito planteado en la Fig. 6 fue exitoso (Fig. 19), ya que al comparar los valores medidos con los datos que arrojó el medidor de potencia, fueron bastante similares.





**Fig. 19.** Comparación sensor SCT-013-000.  
**Fuente:** Autores.

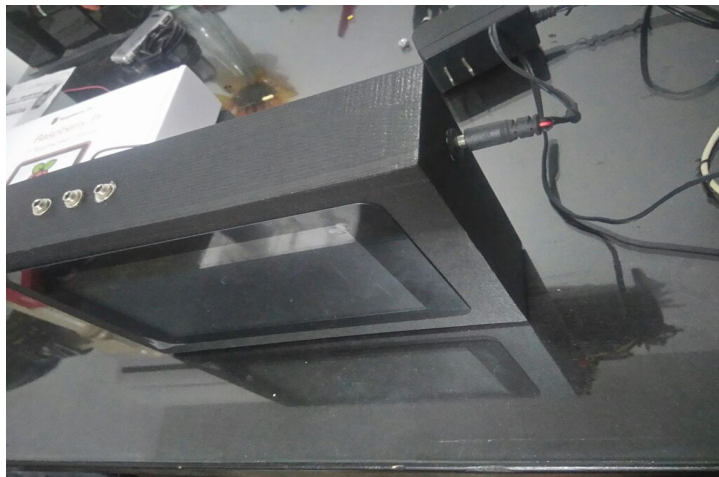
Como resultado estético del sistema se colocaron las 6 conexiones de los sensores en la caja realizada en impresión 3D, 3 jacks en la parte superior izquierda y las otras 3 en la zona lateral izquierda superior. En la parte frontal evidentemente la pantalla táctil de 7" y por último en la zona lateral derecha superior el conector para la alimentación (Fig. 20; Fig. 21; Fig. 22).



**Fig. 20.** Conexión sensor ACS712-20A.  
**Fuente:** Autores.



**Fig. 21.** Sistema completo 1.  
**Fuente:** Autores.



**Fig. 22.** Sistema completo 2.  
**Fuente:** Autores.



En la Fig. 23 se puede observar cómo quedó el sistema con las conexiones.

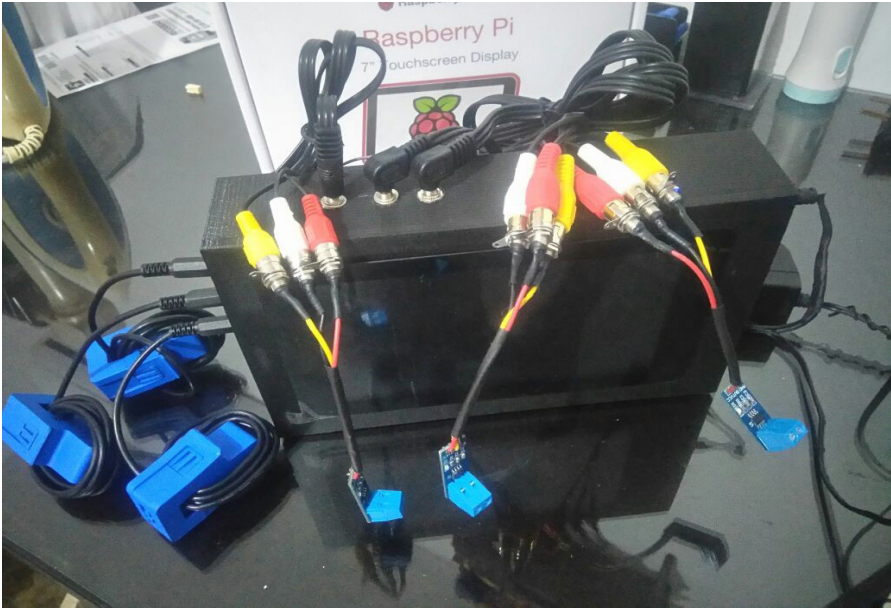


Fig. 23. Ejemplo de conexiones completas.  
Fuente: Autores.

En la Fig. 24 se puede observar.

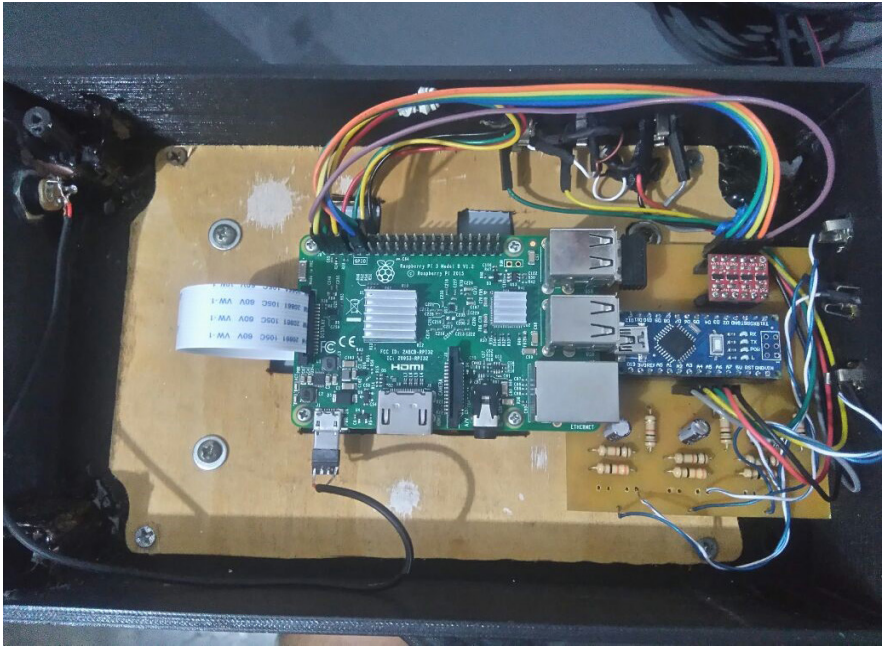


Fig. 24. Conexionado interno.  
Fuente: Autores.

La base de datos se realizó en MySQL. En la siguiente Fig. 25 se puede apreciar una de las tablas de la db y a mano izquierda todas las tablas que contiene.

	id	Zona1	Zona2	Zona3	MIN	created_at	updated_at
<input type="checkbox"/>	1	0	0	0	0	0000-00-00 00:00:00	0000-00-00 00:00:00
<input type="checkbox"/>	2	0	0	0	1	0000-00-00 00:00:00	0000-00-00 00:00:00
<input type="checkbox"/>	3	0	0	0	2	0000-00-00 00:00:00	0000-00-00 00:00:00
<input type="checkbox"/>	4	0	0	0	3	0000-00-00 00:00:00	0000-00-00 00:00:00
<input type="checkbox"/>	5	0	0	0	4	0000-00-00 00:00:00	0000-00-00 00:00:00
<input type="checkbox"/>	6	0	0	0	5	0000-00-00 00:00:00	0000-00-00 00:00:00
<input type="checkbox"/>	7	0	0	0	6	0000-00-00 00:00:00	0000-00-00 00:00:00
<input type="checkbox"/>	8	0	0	0	7	0000-00-00 00:00:00	0000-00-00 00:00:00
<input type="checkbox"/>	9	0	0	0	8	0000-00-00 00:00:00	0000-00-00 00:00:00
<input type="checkbox"/>	10	0	0	0	9	0000-00-00 00:00:00	0000-00-00 00:00:00
<input type="checkbox"/>	11	0	0	0	10	0000-00-00 00:00:00	0000-00-00 00:00:00
<input type="checkbox"/>	12	0	0	0	11	0000-00-00 00:00:00	0000-00-00 00:00:00
<input type="checkbox"/>	13	0	0	0	12	0000-00-00 00:00:00	0000-00-00 00:00:00
<input type="checkbox"/>	14	0	0	0	13	0000-00-00 00:00:00	0000-00-00 00:00:00
<input type="checkbox"/>	15	0	0	0	14	0000-00-00 00:00:00	0000-00-00 00:00:00
<input type="checkbox"/>	16	0	0	0	15	0000-00-00 00:00:00	0000-00-00 00:00:00
<input type="checkbox"/>	17	0	0	0	16	0000-00-00 00:00:00	0000-00-00 00:00:00
<input type="checkbox"/>	18	0	0	0	17	0000-00-00 00:00:00	0000-00-00 00:00:00
<input type="checkbox"/>	19	0	0	0	18	0000-00-00 00:00:00	0000-00-00 00:00:00
<input type="checkbox"/>	20	0	0	0	19	0000-00-00 00:00:00	0000-00-00 00:00:00
<input type="checkbox"/>	21	0	0	0	20	0000-00-00 00:00:00	0000-00-00 00:00:00
<input type="checkbox"/>	22	0	0	0	21	0000-00-00 00:00:00	0000-00-00 00:00:00
<input type="checkbox"/>	23	0	0	0	22	0000-00-00 00:00:00	0000-00-00 00:00:00

Fig. 25. Ejemplo base de datos.  
Fuente: Autores.

Para la visualización de todo el sistema se utilizó la página web, la cual ya se describió anteriormente en la sección II.E (Fig. 26; Fig. 27; Fig. 28).



Fig. 26. Página Web. Página principal.  
Fuente: Autores.



Fig. 27. Página Web. Ventana inicial.  
Fuente: Autores.

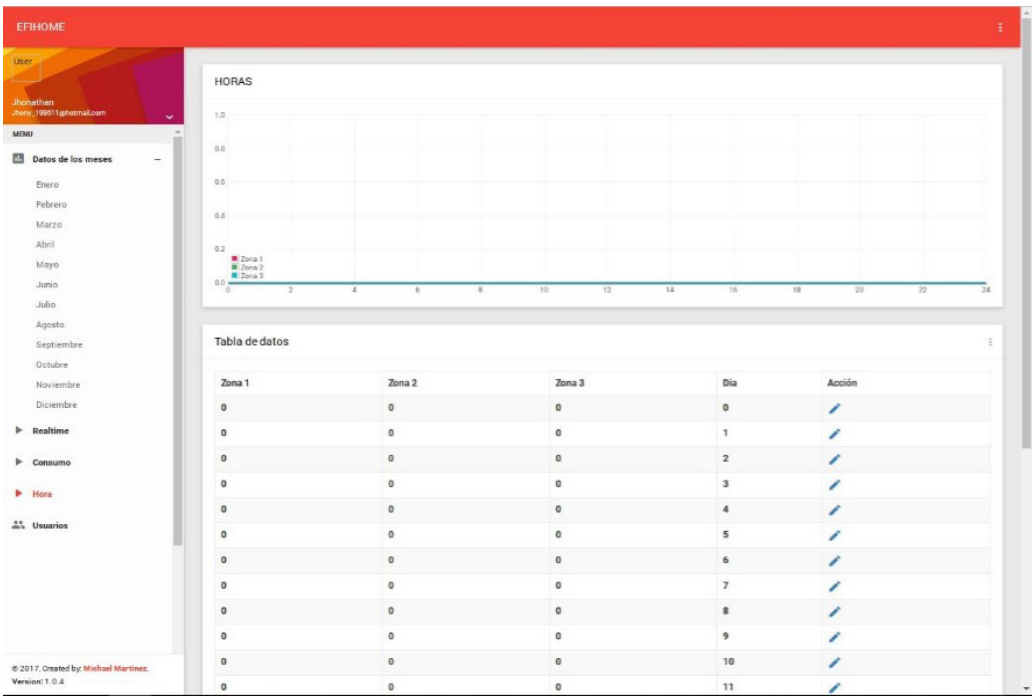


Fig. 28. Página Web. Tabla horas.  
Fuente: Autores.

Se muestra un ejemplo de algunas mediciones que se hicieron en tiempo real en las Fig. 29 y Fig. 30.



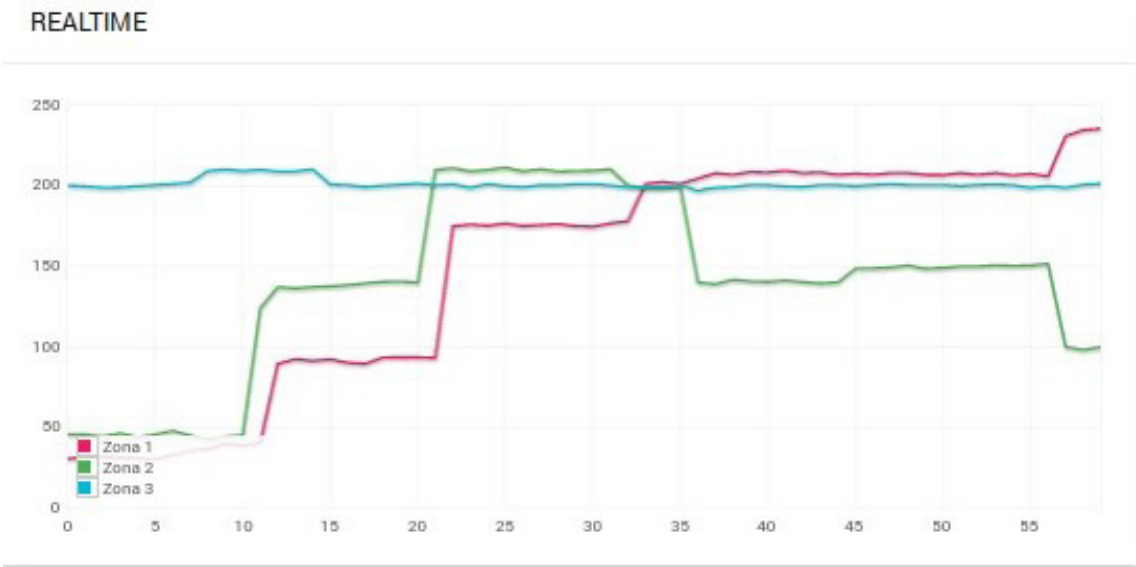


Fig. 29. Página Web. Gráfica RealTime.  
Fuente: Autores.

Zona 1	Zona 2	Zona 3	Min
30.54	45.76	200.545	0
31.67	45.66	200.04	1
31.78	44.39	199.24	2
31.54	46.39	199.387	3
30.68	43.809	200.19	4
30.54	45.66	200.78	5
32.789	47.894	201.559	6
35.789	44.987	202.45	7
36.458	42.578	209.57	8

Fig. 30. Página Web. Tabla RealTime.  
Fuente: Autores.

La página web contiene una sección llamada “consumo” el cual le hace una redirección a una hoja de Excel (Fig. 31).

			Electrodomestico	Consumo (W/att)	Horas de uso al día	Horas de uso a la semana	Gasto al mes
Factura deseada	\$89.250		Decodificador Sala	4	3,9	27,4	0,21%
			Televisor Sala	62	3,9	27,4	3,22%
Valor KWh	\$423,4		Cargador de celular	3,5	4,0	28,0	0,19%
			Ventilador Sala	84	2,9	20,2	3,22%
Consumo Mes (W/atts)	210.774		Bombillo Sala	16	4,0	28,0	0,85%
			Computador	40	5,3	37,1	2,82%
Dias del Mes	28		Ventilador Cuarto1	84	2,5	17,7	2,82%
			Ventilador Cuarto2	47	4,5	31,6	2,82%
Uso Minimo dispositivos de Baja potencia	4		ventilador Cuarto3	42	5,1	35,4	2,82%
			Equipo de sonido	3	4,0	28,0	0,16%
Consumo diario	7.527,6		Bombillo Cuarto1	9,5	4,0	28,0	0,50%
			Bombillo Cuarto2	9,5	4,0	28,0	0,50%
			Bombillo Cuarto 3	9,5	4,0	28,0	0,50%
			Bombillo Baño	5,5	4,0	28,0	0,29%
			Licudadora	187	1,1	7,9	2,82%
			Sanduchera	629	0,3	2,4	2,82%
			Lavadora	174	1,2	8,5	2,82%
			Bombillo Cocina	9,5	4,0	28,0	0,50%
			Bombillo Patio	9,5	4,0	28,0	0,50%
			Nevera	200	24,0	168,0	63,77%
No	Aparatos	Potencia (Watts)	Horas Programas	Horas Extra	Consumo	Consumo Destinado	Gasto al mes
1	Aire Acondicionado	1200	-	0,4	440,0	440	2,14%
1	Total		Total Consumo		440,0	440	

Fig. 31. Sistema de predicción.  
Fuente: Autores.

En la Fig. 32 se puede observar la página a la cual redirecciona la sección de consumo. Este conjunto se realizó en 3 partes, la primera se puede ver en la parte izquierda, fue allí donde se ingresaron los datos del precio de la factura deseada, el valor del Kwh y los días del mes, la segunda se encuentra en la parte derecha la cual fue la tabla que arrojó los datos de cuántas horas se podía utilizar cada dispositivo tanto diarios como semanales. Es importante decir que la sección de esa misma tabla llamada “consumo (Watt)” fueron datos que se llenaron teniendo en cuenta el consumo de cada dispositivo por separado, esto se hizo con el mismo medidor de potencia de la Fig. 7. Como tercera parte se encuentra la sección de abajo, el cual contiene una tabla en donde se ingresan los dispositivos a los cuales se les quiere asignar una potencia extra a la que ya tienen. Cabe destacar que los días del mes ingresados dependerá de las fechas de corte de la empresa que suministra la energía ya que estos días pueden variar según lo decida la compañía.



Fig. 32. Factura de energía.

Fuente: Autores.

Para comprobar el funcionamiento del sistema se ingresó un valor de factura ya conocido, es decir, se tomó el valor de la energía de la Fig. 33, y se comparó con los valores que arrojaba el sistema. Se puede observar que en la Fig. 32 nos muestra un valor de 210 KWh en consumo mes y un consumo diario de 7.52 KWh, así el sistema da una predicción aproximada del consumo que se debe presentar para que llegue por un precio determinado. También hay que tener en cuenta que según el estrato de cada vivienda el valor del KWh es diferente, cada estrato recibe un subsidio del gobierno lo cual siempre es diferente según el consumo que tenga la propiedad. En este caso se colocó el valor del KWh como un valor constante.

Es importante saber que del valor del consumo se tomó solamente la energía consumida ya que en el valor total de la factura vienen incluidos impuestos que cobra la empresa, en este caso alumbrado público, conceptos de seguridad, entre otros.

En cuanto a la eficiencia energética se estuvo trabajando en ello por varios meses, se puede observar en la figura 30 un historial de consumos de los últimos 6 meses. En el diagrama de barras se puede ver que el primer mes se obtuvo un consumo de 234 KWh y al siguiente mes hubo un incremento, sin embargo, los siguientes 2 meses hubo un ahorro bastante considerable y al mes quinto un consumo de 329 KWh, un consumo bastante excesivo, esto debido a que hubo un ingreso de un nuevo electrodoméstico, un aire acondicionado, debido a ello se tuvo que realizar un cambio en la infraestructura para no tener estos gastos excesivos. El cambio de infra-



estructura fue un sellamiento de la habitación en donde se encontraba el dispositivo, es decir, se cubrieron todas las ventanas y orificios por donde podría salirse el aire, esto hizo que el electrodoméstico no tuviera que forzarse para mantener la habitación a la temperatura deseada, lo que disminuyó el consumo de este. Se realizó igualmente un proceso de concientización para las personas de la vivienda ya que no era necesario mantener encendido el dispositivo por mucho tiempo, ya que con solo 1 hora e incluso media hora era tiempo suficiente para que la habitación estuviera a una temperatura bastante agradable, por lo tanto, podría programarse para que se desconectara en ese tiempo y luego sencillamente utilizar un ventilador, lo cual reducía mucho el consumo [10].

Otra forma de ahorrar energía fue utilizar reguladores con interruptores de corte, especialmente para los electrodomésticos que tuvieran un consumo de stand by, es decir, que a pesar de que el dispositivo se encuentre apagado sigue teniendo un consumo, aunque pequeño pero significativo. Estos reguladores, contienen un switch el cual corta la energía para que los dispositivos que se encuentren conectados a él queden desconectados, estos dispositivos también protegen a los electrodomésticos contra sobre voltajes. Para la desconexión programada de los dispositivos se pueden utilizar las llamadas zapatillas o regletas. En este caso se utilizó para el televisor y el decodificador. Se utilizó un regulador de marca Forza. En los dos meses restantes se puede ver que el consumo disminuyó considerablemente, lo cual da validez a que la eficiencia energética fue bastante funcional y efectiva para la disminución de consumo energético [11]. Por último, se muestra la prueba realizada donde se evidencia los sensores conectados a la caja de suministro y estos al prototipo. En las imágenes se observan 4 interruptores, sin embargo, sólo se utilizaron 3 (Fig. 33; Fig. 34).

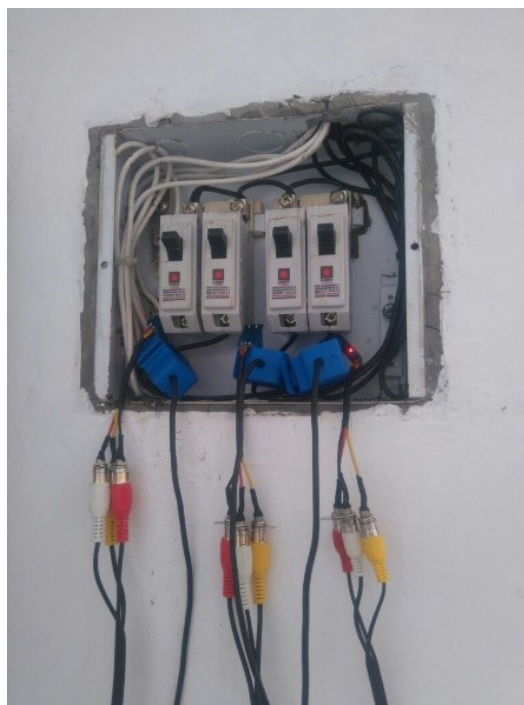


Fig. 33. Conexión sensores-caja de suministro.  
Fuente: Autores.



Fig. 34. Sensores y sistema en funcionamiento.  
Fuente: Autores.



## IV. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos durante la realización de este proyecto fueron satisfactorios pues se lograron los objetivos propuestos.

Durante las previamente mencionadas pruebas que se le realizaron al sistema de estimación de gasto energético, se contaba con un registro del uso de cada dispositivo de la residencia y su correspondiente consumo, de esta forma se ingresaba el total de la factura deseado en el sistema de estimación de gastos y este calculaba cuánto se debía consumir para llegar a dicho valor. Los resultados de estos ensayos fueron positivos, con un error de entre el 10% y el 15%, ocasionado porque la vivienda utilizada como muestra es de estrato 3 con subsidio en la factura, esto hace que para cierta cantidad de kw/h cambie el monto y que además de esto, en el total de la factura viene un porcentaje para el pago de servicio de alumbrado público.

Cabe resaltar que es recomendable el uso de aislantes térmicos en las paredes para que el cuarto quede más hermético y así prolongar el tiempo en que se mantenga una temperatura agradable reduciendo el consumo de este aparato y por tanto aumentando el ahorro.

Otra posible fase de esta investigación sería implementar control de los dispositivos en conjunto con el sistema de estimación de gastos. Con esto se lograría un control automático sin necesidad de que los residentes tengan que preocuparse por apagar los dispositivos cuando no estén en uso.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al ingeniero Michael José Martínez De La Hoz por su colaboración en la elaboración de la página web y por aconsejarnos en la utilización de las bases de datos. Al docente e ingeniero Saúl Pérez por brindarnos su ayuda e impartirnos sus conocimientos en la eficiencia energética. Al docente e ingeniero Kelvin Beleño por habernos acompañado y dirigido en todo el desarrollo del proyecto y a la Universidad Autónoma del Caribe por habernos prestado sus laboratorios para la realización de este proyecto.

## REFERENCIAS

- [1] Admin, “Generación hidráulica, fuente de energía y dínamo para las exportaciones.” *Colombia Energía*. Disponible en <http://www.colombiaenergia.com/featured-article/generación-hidráulica-fuente-de-energía-y-Dínamo-para-las-exportaciones> [Último acceso: Noviembre 10, 2017].
- [2] teleSUR-JA, “Embalses de Colombia afectados severamente por sequía.” *Tele Sur*, Marzo 25, 2016. Disponible en <http://www.telesurtv.net/news/Embalses-de-Colombia-afectados-severamente-por-sequia-20160325-0037.html>
- [3] C. Carpio y M. F. Coviello, *Eficiencia energética en América Latina y el Caribe: avances y desafíos del último quinquenio*. SCL: CEPAL, 2013. Disponible en <https://www.cepal.org/es/publicaciones/4106-eficiencia-energetica-america-latina-caribe-avances-desafios-ultimo-quinquenio>
- [4] UPME, *Guía para el consumo consciente, racional y eficiente de la energía (sector residencial)*. BO, CO.: UPME.
- [5] Consejería de economía y hacienda, Comunidad de madrid, ANFALUM y FENERCOM, *Guía sobre tecnología LED en el alumbrado*. MD, ES: BOCM, 2015. Recuperado de <https://www.iluminet.com/press/wp-content/uploads/2018/07/Guia-sobre-Tecnologia-LED-en-el-Alumbrado-fenercom-2015.pdf>
- [6] Community Open Energy Monitor, “CT sensors - Interfacing with an Arduino.” *Open Energy Monitor Archived Forum*. Available: <https://openenergymonitor.org/forum-archive/node/156.html> [Último acceso: Diciembre 4, 2017].
- [7] Raspberry Pi, “www.raspberrypi.org.” *Raspberry Pi Foundation*. Available: <https://www.raspberrypi.org/learning/addons-guide/display/> [Último acceso: Noviembre 28, 2017].
- [8] D. Acosta, “Instalación de Composer y Laravel en Ubuntu 14 LTS.” *Styde*. Available: <https://styde.net/instalacion-de-composer-y-laravel-en-ubuntu-14-lts-paso-a-paso/> [Último acceso: Noviembre 30, 2017].
- [9] S. McCool, *Laravel starter*. BI Birm, UK: Packt Publishing Ltd., 2012.
- [10] EPEC, *La eficiencia energética en el hogar*. CD: EPEC. Recuperado de <https://www.epec.com.ar/docs/educativo/institucional/eficiencia.pdf>
- [11] A. Carretero y J. M. García, *Gestión de la eficiencia energética: cálculo del consumo, indicadores y mejora*. MD, ES: AENOR, 2012.

**Jhonatan de la Hoz** es Ingeniero Mecatrónico de la Universidad Autónoma del Caribe (Colombia), desarrollador de equipos electrónicos y en procesos de automatización industrial. Actualmente trabaja en Alutions Tecnoglass como Ingeniero de Mantenimiento encargado de la parte eléctrica, electrónica y automatización de la planta.

**Betsy Guerrero** es Ingeniera Electrónica de la Universidad del Norte (Colombia). Desarrollador de soluciones de software en el área de soluciones de Business Intelligence. Actualmente trabaja en Icubo como Ingeniero de Soluciones BI encargado del soporte, capacitación y reporte de los desarrollos de BI en diferentes proyectos.

**Kelvin Beleño** es Ingeniero electrónico de la Universidad de Pamplona (España). Magister en Controles industriales Universidad de Pamplona. Estudiante de Doctorado en Ingeniería Química de la Universidad Complutense de Madrid (España). Ha trabajado como Gerente de proyectos en GMAS Services & CIA Ltda. Actualmente adscrito al programa de Ingeniería Mecatrónica en la Universidad Autónoma del Caribe (Colombia).